

TD – Machines Thermiques II–

Série 3

Pr. A. EL Fadar

Exercice 1 : Turbine à gaz – turboréacteur (cf. fig.1).

Dans un avion d'entraînement muni d'un turboréacteur, le cycle du gaz est décrit comme suit: L'air à pression et température atmosphériques ($p_1=1,1$ bar ; $T_1=10^\circ\text{C}$) est admis dans le compresseur qui porte l'air à pression $p_2=20$ bars. L'air est ensuite chauffé à pression constante dans une chambre de combustion jusqu'à $T_3=1100^\circ\text{C}$. Il est ensuite détendu dans la turbine, qui alimente le compresseur. Enfin, en sortant de la turbine à T_4 , l'air est détendu de manière isentropique dans une tuyère d'où il sort accéléré, à pression atmosphérique p_5 .

Lorsque le moteur fonctionne à plein régime, le débit d'air au sein du moteur est de $q=3$ kg/s.

- 1) Représenter l'évolution du gaz dans le moteur sur un diagramme entropique (T,s).
- 2) Calculer la température de l'air à la sortie du compresseur, T_2 (K)?
- 3) Quelle est la température des gaz brûlés à la sortie de la turbine, T_4 (K)?
- 4) Calculer la pression des gaz brûlés à la sortie de la turbine, p_4 (bar)?
- 5) Quelle est la vitesse maximale d'éjection des gaz à la sortie de la tuyère, v_5 (m/s)?
- 6) On effectue un petit prélèvement de gaz au sein de la turbine avec un débit de $0,1$ kg/s, et la température des gaz est de $T_6=900^\circ\text{C}$. Calculer le débit supplémentaire, x (kg/s), à faire circuler dans la turbine pour que la turbine puisse garder la même puissance thermique. On exprimera d'abord x en fonction de T_3 , T_4 et T_6 . On donne :

- Rendement isentropique du compresseur vaut $\eta_{is}^C = 0,8$.

- Rendement isentropique de la turbine vaut $\eta_{is}^T = 0,9$.

- air : $cp_a = 1005$ J/kg.K ; $\gamma = 1,4$.

- gaz brûlés : $cp_g = 1150$ J/kg.K ; $\gamma = 1,333$.

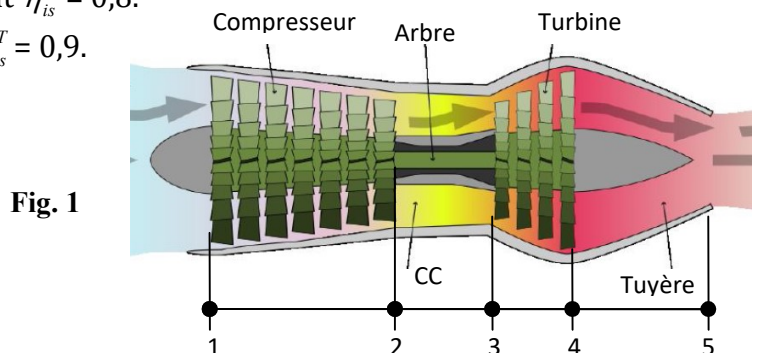


Fig. 1

Exercice 2 : Centrale thermique à turbine à gaz en série (cf. Fig.2).

La puissance délivrée par la turbine à gaz est utilisée pour entraîner le compresseur, le surplus de puissance étant fourni à une machine réceptrice (un alternateur par exemple). Dans certains cas, il est préférable d'utiliser deux turbines (Tur1) et (Tur2), fonctionnant en série : la première entraîne le compresseur et la seconde l'alternateur. Cette conception à deux arbres fait l'objet de cette étude.

On donne les caractéristiques de fonctionnement suivantes :

- Compresseur
 - Entrée : $P_0=1$ bar, $T_0=288$ K
 - Sortie : $P_1= 5$ bars, $T_1=500$ K
- Turbines
 - Rendement isentropique des turbines : $\eta_{is,t} = 0,8$.
 - Entrée turbine haute pression (HP) : $P_2=5$ bars, $T_2=1073$ K.

- Rendement mécanique de la transmission compresseur-turbine, $\eta_m=0,98$: défini comme étant le rapport du travail absorbé par le compresseur W_c et celui fourni par la turbine W_t .

- Rendement de la chambre de combustion : $\eta_c=0,97$.
- Pouvoir calorifique inférieur du combustible : $P_{ci}=10^4$ kcal/kg.

Le débit d'air vaut $q_a = 35,3$ kg/s. On donne $\gamma=1,4$.

- 1) Calculer les températures de sortie des turbines, réelles et isentropiques ($T_3, T_{3'}, T_4, T_4'$). c_p est supposée constante : $c_p=1,0045$ kJ/kg.K.
- 2) Déterminer le débit de carburant q_c (kg/s).
- 3) Calculer le rendement de l'installation pour une puissance aux bornes de l'alternateur $P_{alt}=5$ MW.

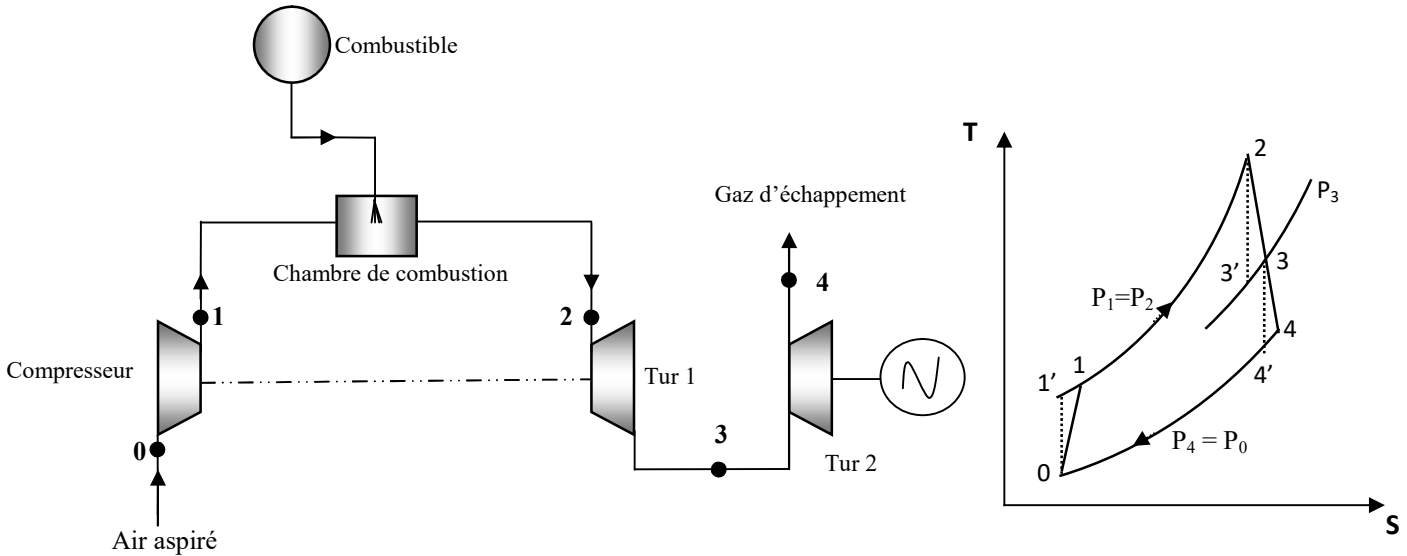


Fig.2 – Centrale thermique à turbine à gaz en série et diagramme entropique du cycle.

Exercice 3 : Centrale thermique à cycle combiné gaz-vapeur.

Cycle à gaz

Dans une centrale thermique comprenant deux groupes turbine-alternateur, l'air pénètre dans le compresseur à la pression atmosphérique et à la température de 20 °C. Chacune des deux chambres de combustion reçoit un débit de carburant $q_{mc}=8,8$ kg/s. Les températures des gaz à l'entrée et à la sortie de la turbine sont respectivement de 950 °C et 457 °C. La puissance électrique fournie par chaque alternateur est de 112 500 kW. On donne :

Pression et température de sortie des gaz d'échappement de l'échangeur : 1 bar et 200 °C.

Le pouvoir calorifique inférieur du carburant est : $P_{ci} = 42\ 000$ kJ/kg.

Constante des gaz parfaits : $r = 287$ J/kg.K ; Rapport des capacités calorifiques : $\gamma=1,4$.

Cycle à vapeur

Les gaz d'échappement de la turbine sont envoyés dans un échangeur gaz-eau. Le cycle turbine à vapeur comprend l'échangeur, la turbine à vapeur avec soutirage, l'alternateur, le condenseur et la pompe d'alimentation, le boîtier de réchauffage du condensat par la vapeur soutirée. On donne :

Débit, pression et température d'entrée de l'eau dans l'échangeur : 103 kg/s, 30 bars et 110 °C.

Température de sortie de la vapeur de l'échangeur : 400 °C.

Puissance électrique fournie par l'alternateur : 90 000 kW.

Chaleur massique de l'eau : 4,18 kJ/kg.°C.

- 1) Calculer le débit de gaz dans l'échangeur gaz-eau. On prendra $c_{p_gaz} = c_{p_air} = Cste$.
- 2) Déterminer le rendement global de l'installation à gaz.
- 3) Déterminer le rendement global de l'installation du cycle combiné gaz-vapeur.